



Analiza wpływu wilgotności wiórów na proces przegrzewania kobierca płyt wiórowych

Analysis of the influence of chip moisture on the overheating process of the particleboard mat

Piotr Borysiuk^{a,*}, ORCID ID: 0000-0002-7508-9359
Magdalena Wołkowicz^a,

^aSzkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Technologii Drewna, Katedra Technologii i Przedsiębiorczości w Przemśle Drzewnym, ul. Nowoursynowska 159/34, 02-776 Warszawa, Polska

*Osoba do korespondencji: piotr_borysiuk@sggw.pl

Streszczenie

Badano proces przegrzewania kobierców z wiórów o wilgotności nominalnej: blisko 0%, 5%, 10% i 15%. W ramach badań analizowano kobierce o gęstości docelowej 600, 700 i 800 kg/m³. Proces przegrzewania przeprowadzono w prasie jednopółkowej sterowanej komputerowo przy temperaturze pówek prasy 180°C w czasie 900 s. Ustalono, że szybszemu przegrzaniu kobierca do temperatury ok. 100°C w jego wnętrzu sprzyja wyższa wilgotność wiórów oraz niższa gęstość wytwarzanej płyty. Wyższe wartości temperatury końcowej we wnętrzu kobierca (ponad 100°C) uzyskuje się w przypadku zastosowania wiórów o niższej wilgotności (poniżej 5%) oraz niższej gęstości wytwarzanej płyty. Kobierzec wytworzony z wiórów o niższej wilgotności wymaga wydłużenia etapu komprymacji w celu uzyskania założonej grubości płyty.

Abstract

The process of overheating of chip mats with nominal moisture content was investigated: near 0%, 5%, 10% and 15%. In the study were analyzed the mats with a final density of 600, 700 and 800 kg/m³. Overheating process was carried out in a computer-controlled single-stage press at 180°C for 900 s. It was found that faster overheating of the mat to the temperature about 100°C inside it, is effect of higher moisture content of the material and lower density of the produced boards. Higher final temperature values in the inside of the mat (over 100°C) are obtained with lower moisture content (less than 5%) and lower density of the boards. A mat made of particles with lower moisture content needs to longer compression time to obtain the final thickness of the board.

Słowa kluczowe: kobierzec wiórów, przegrzewanie, wilgotność wiórów, gęstość płyt komprymacja

Keywords: chip mats, overheating, moisture content of chips, density of board, compression

Wprowadzenie

Wilgotność odgrywa istotną rolę praktycznie we wszystkich procesach obróbki i przerobu drewna. W przypadku płyt wiórowych szczególne znaczenie zagadnienie to odgrywa w procesie prasowania, gdzie wilgotność wiórów z jednej strony jest czynnikiem niepożądanym - utrudniającym przebieg procesu, z drugiej jednak wspomaga przegrzewanie kobierca. Poglębienie znajomości wpływu wilgoci na proces przegrzewania i zagęszczania kobierca od strony praktycznej może przyczynić się do głębszego poznania przemian zachodzących podczas tego procesu i być może w konsekwencji do jego udoskonalenia. Z zagadnieniem tym ściśle związany jest również czas prasowania, który w znacznej mierze wpływa na wydajność linii produkcyjnych.

W efekcie procesu prasowania wytwarzane płyty zyskują wymaganą grubość, gęstość i jej odpowiedni rozkład na przekroju poprzecznym, a co za tym idzie również stosowne właściwości fizyko-mechaniczne. Warunkiem przekształcenia kobierca w płytę jest wywarcie na jego powierzchnię odpowiedniego nacisku, ogrzanie go do wymaganej temperatury, oraz utrzymanie pod naciskiem w założonej temperaturze przez określony czas prasowania. W trakcie tego etapu w kobiercu zachodzi wiele złożonych procesów fizykochemicznych, mających swoje przełożenie na efekt końcowy i prawidłowość przeprowadzenia procesu prasowania. Pod wpływem nacisku wywieranego na prasowany kobierzec powstają w nim naprężenia i odkształcenia sprężyste, zależne od właściwości jej części składowych. Powodują one wytwarzanie w kobiercu określonego ciśnienia przeciwdziałającego ciśnieniu prasowania. Nacisk na kobierzec powoduje jego zagęszczenie prowadzące do zmniejszenia grubości kobierca i powodujące powiększenie liczby punktów i łącznej powierzchni styku pomiędzy wiórami. W początkowym okresie zagęszczenia następuje zbliżenie się wiórów pomiędzy sobą, siła reakcji komprymacji kobierca jest niewielka. W miarę dalszego zagęszczania następują zmiany kształtu wiórów, ich niewielkie przesunięcie, zmniejsza się porowatość kobierca. Siła reakcji w tym okresie gwałtownie wzrasta, praktycznie ze stałą prędkością. Po osiągnięciu zakładanej grubości kobierca, w efekcie wilgotności drewna i wzrostu temperatury, zmniejsza się sprężystość wiórów. Odkształcenia drewna mają w coraz większym stopniu charakter odkształceń plastycznych, powodując tym samym zmniejszenie siły reakcji komprymacji kobierca. Wielkość zmian kształtu wiórów i stopnia ich przesunięcia oraz wielkość odkształceń drewna wiórów zależą od ich wymiaru, kształtu oraz wilgotności. Wióry cienkie są bardziej podatne na zmiany kształtu niż wióry grube. Wolne

przestrzenie między krzyżującymi wiórami w przypadku wiórów cienkich są mniej zróżnicowane oraz mniejsze niż przestrzenie pomiędzy wiórami grubymi, tym samym wypełnienie tych przestrzeni jest łatwiejsze. Wióry drobne w związku z ich małą szerokością oraz niewielką długością krzyżują się z mniejszą ilością wiórów sąsiednich, na skutek czego ich wzajemne przemieszczanie jest łatwiejsze niż wiórów o dużej szerokości i długości. Odształcenia wiórów drzewnych, największe w miejscach krzyżowania się wiórów są tym większe w im większy jest wymiar prasowanych wiórów oraz ich wilgotność. Kontakt powierzchni koberca z elementami grzejnymi prasy powoduje jego ogrzanie. Jest to wynikiem przewodzenia ciepła przez wióry jak i unoszenia przez parę wodną. Wióry charakteryzują się bardzo niską przewodnością cieplną, zatem podczas przewodzenia ciepła zasadniczą rolę odgrywa zawartość wilgoci we wiórach. W pierwszej fazie prasowania koberca temperatura warstw przypowierzchniowych szybko rośnie w efekcie czego dochodzi do intensywnego parowania wilgoci w nich zawartej. Pod wpływem zróżnicowania temperatury na przekroju koberca i związanym ściśle z tym zróżnicowaniem prężności pary wodnej, przemieszcza się ona wгłęb koberca. W wyniku zetknięcia się z zimnymi wiórami z warstwy środkowej koberca, para wodna skrapla się z wydzieleniem ciepła. Zwiększenie zawartości wilgoci w warstwach przypowierzchniowych koberca powoduje zwiększenie ilości pary, a co za tym idzie ilości ciepła przenoszonego do wnętrza koberca. Dodatkowo proces przegrzewania można przyspieszyć stosując natrysk dodatkowej wilgoci na powierzchnię koberca ($100 - 250 \text{ g/m}^2$) w efekcie czego uzyskuje się tak zwany efekt uderzenia parowego (Fahrin 1956). W dalszej części procesu przegrzewania w efekcie osiągnięcia w środku koberca temperatury wrzenia następuje odparowanie zgromadzonej tam wilgoci. Powstała para wydostaje się poprzez powierzchnie boczne koberca. Ciepło przenikające w tym czasie do wnętrza koberca zużyte zostaje głównie na odparowanie wody, temperatura w środku koberca wzrasta w niewielkim zakresie i przez dłuższy okres czasu utrzymuje się na poziomie $105 - 115^\circ\text{C}$. Wysokość temperatury jest skorelowana z gęstością oraz szerokością prasowanej płyty, w głównej mierze zależy od stopnia trudności odprowadzania pary przez powierzchnie boczne koberca (Carvalho i in. 2010). Dalszy wzrost temperatura może nastąpić dopiero po odparowaniu większej części wilgoci. Jest on związany ze wzrostem prężności mieszaniny gazu (głównie ogrzanego powietrza) i pary wodnej w środku koberca w czasie prasowania. Wielkość ciśnienia mieszaniny gazu i pary w środku koberca jest uzależniona od wilgotności wiórów, gęstości i wymiarów płyty, temperatury prasowania oraz zmian przebiegu ciśnienia podczas prasowania. Zmiana (spadek) ciśnienia wewnątrz koberca, powodowany uchodzeniem pary przez powierzchnie boczne, jest związany w głównej mierze z przepuszczalnością koberca oraz z szybkością zmniejszania ciśnienia prasowania. Stopień przepuszczalności zależy od gęstości koberca, wymiarów wiórów, oraz gatunku drewna. Przepuszczalność jest wyższa w przypadku wiórów z drewna twardego oraz o większych wymiarach. Związane jest to większą ilością wolnych przestrzeni

w strukturze płyty (Denisov i in. 1975). Pod koniec procesu prasowania kobieriec charakteryzuje się pewnym wewnętrznym ciśnieniem końcowym, wywołanym przede wszystkim ciśnieniem pary wodnej. Wielkość tego ciśnienia zależy od czasu przegrzewania, wilgotności wiórów, szybkości zamykania prasy oraz stopnia utwardzenia kleju (May 1970). Według Denisova (1973, 1978) w czasie otwierania prasy w przypadku płyt o gęstości 550 - 650 kg/m³ ciśnienie mieszaniny gazu i pary w warstwie środkowej płyty wynosi 0,06 - 0,08 MPa. Ten sam Autor podaje jako wartość krytyczną ciśnienia $\geq 0,15$ MPa powodującą tworzenia się w płycie rozwarstwień. Bezpośrednio po prasowaniu wilgotność płyty w warstwach wewnętrznych nie powinna przekraczać 8 - 9%, gdyż przy wyższym jej poziomie zwiększone jest prawdopodobieństwo odkształcenia powrotnego (*spring-back*) płyt na grubość (Deppe i Ernest 1982).

Cel i zakres pracy

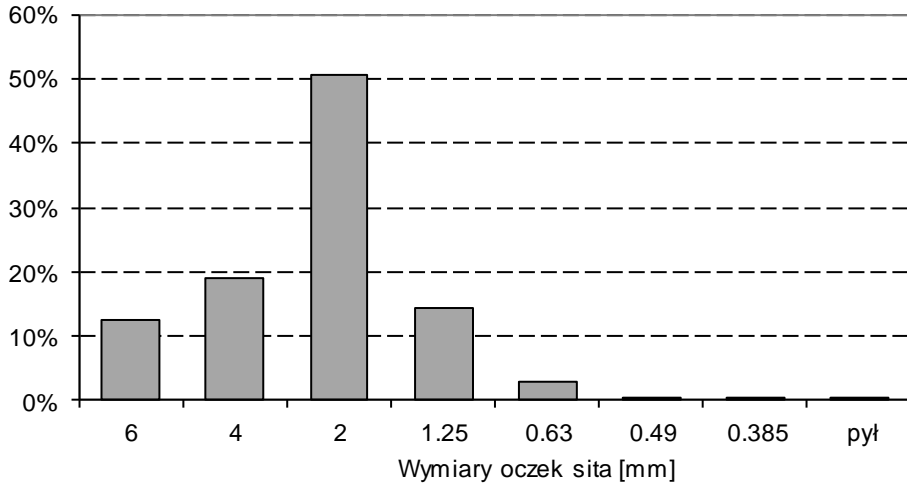
W ramach niniejszego opracowania podjęto próbę określenia zależności wpływu wilgotności wiórów (w zakresie 0 - 15%) na proces przegrzewania i kompresji kobierca w trakcie prasowania płyt wiórowych. Według literatury w przypadku prasowania płyt zależność ta jest wyraźna i istotna. W przypadku zbyt suchych wiórów istnieją problemy z prawidłowym zagęszczeniem kobierca, z kolei zbyt duża wilgotność generuje problemy w postaci pęcherzy i rozwarstwiania się płyt.

Materiały i metodyka badań

Badanie wpływu wilgotności wiórów na proces przegrzewania i zagęszczania kobierca przeprowadzono z wykorzystaniem wiórów iglastych pozyskanych w warunkach przemysłowych, przeznaczonych na warstwę środkową płyty wiórowej. Skład frakcyjny wiórów, oznaczony przy zastosowaniu wytrząsarki laboratoryjnej, przedstawiono na Rys. 1.

Oznaczanie wilgotności wiórów przeprowadzono z wykorzystaniem wago-suszarki (pomiar automatyczny). Wilgotność dla każdej partii wiórów oznaczana była trzykrotnie, a następnie uzyskane wartości uśredniono. Pomiar odbywał się z dokładnością do 0,1%. W celu poprawnego oznaczenia wilgotności, wióry do badania pobierane były z różnych części worka, materiał badany był niezwłocznie po pobraniu w celu uniknięcia absorpcji wilgoci z powietrza.

Badania przeprowadzono przy wilgotności nominalnej wiórów: blisko 0%, 5%, 10%, 15%. W celu uzyskania założonych wilgotności wszystkie wióry zostały wysuszone w suszarce komorowej, do wilgotności zbliżonej do 0%. Następnie każdą partię wiórów nawilżano równomiernie z wykorzystaniem spryskiwacza ręcznego do uzyskania złożonego poziomu zawartości wilgoci. W celu poprawy równomierności rozkładu wilgotności materiał został umieszczony w szczelnie zamkniętych workach na 7 dni, po czym ponownie została określona wilgotność wiórów. Dokładne wilgotności wiórów przedstawiono w Tabeli 1.



Rys. 1. Skład frakcyjny wiórów wykorzystanych w badaniach
Fig. 1. Fractional composition of chips used in the study

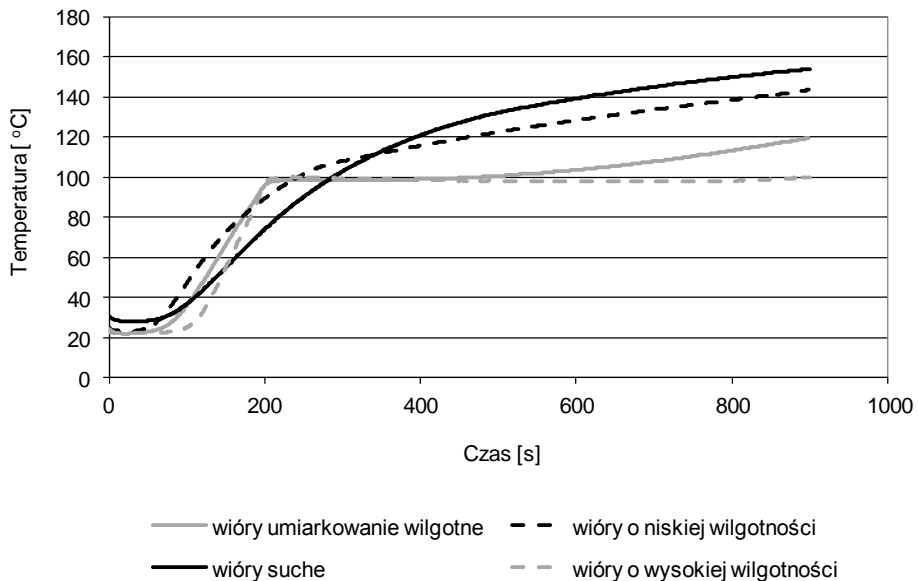
Tabela 1. Wilgotność wiórów użytych do badania
Table 1. Moisture content of chips used for study

Określenie wiórów	600 kg/m ³	700 kg/m ³	800 kg/m ³
Wióry suche	1,5%	1,8%	1,5%
Wióry o niskiej wilgotności	5,6%	4,2%	5,6%
Wióry umiarkowanie wilgotne	8,2%	8%	8,2%
Wióry o wysokiej wilgotności	15,0%	14,2%	15,0%

Z przygotowanego materiału do dalszych badań wytworzono kobierce o gęstości 600 kg/m³, 700 kg/m³ oraz 800 kg/m³. Badanie przeprowadzono bez udziału kleju (jako ewentualnego dodatkowego czynnika zmiennego). Założono, że źródło wilgoci jest w danym przypadku nieistotne w praktyce podczas zagęszczania kobierca ilość wilgoci zawarta w kobiercu jest sumą ilości wody wprowadzanej z roztworem klejowym i wilgoci zawartej we wiórach. Poszczególne kobierce zostały wykonane metodą nasypu ręcznego w technologii płyty jednowarstwowej. W trakcie formowania kobierca w połowie jego grubości umieszczono termoparę. Płyty o grubości końcowej 16 mm prasowano w prasie jedno półkowej sterowanej komputerowo przez czas 900 s przy temperaturze 180°C i maksymalnym ciśnieniu jednostkowym 2,5 MPa (maksymalne ciśnienie manometryczne 12 MPa). W trakcie prasowania z wykorzystaniem programu komputerowego zapisywano z częstotliwością 1 s takie dane jak: ciśnienie prasowania, grubość kobierca oraz temperatura wewnątrz kobierca.

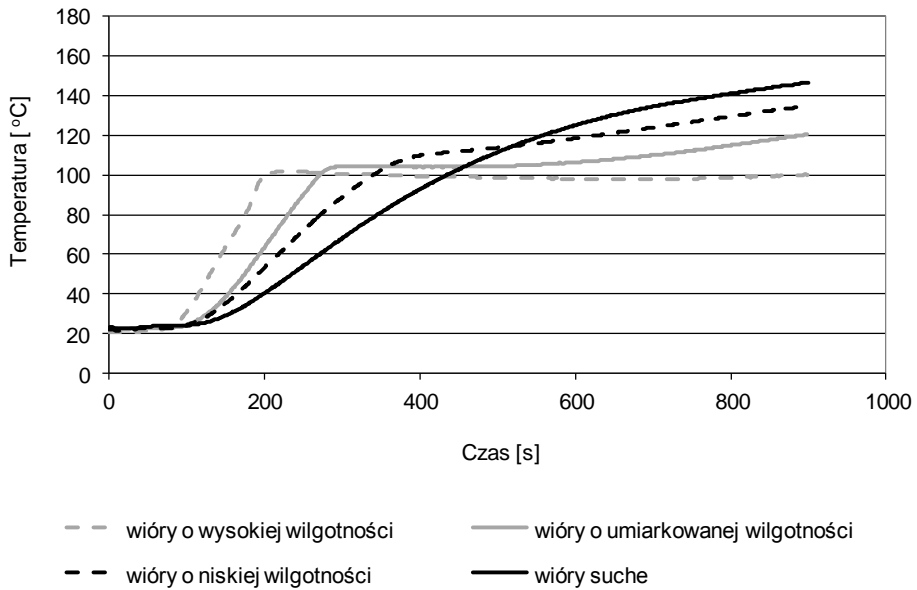
Wyniki badań i analiza

Wilgotność wiórów, niezależnie od gęstości końcowej płyt, w istotny sposób wpływa na przebieg wzrostu temperatury wewnątrz prasowanych kobierców (Rys. 2, 3 i 4). Ogólnie można stwierdzić, że wióry o najwyższej wilgotności pozwalają zapewnić najszybszy transfer ciepła do wnętrza kobierca i tym samym ogrzać jego warstwę środkową. Kamke i Casey (1988a) również wskazali między innymi, że im wyższa jest wilgotność wiórów w warstwach przypowierzchniowych tym szybciej zachodzi proces ogrzewania kobierca. Efekt ten związany jest z rosnącym ciśnieniem pary wodnej wytwarzanej w warstwach przypowierzchniowych i jej penetracją w głąb prasowanego na surowca skutek gradientu ciśnienia (Kamke i Casey 1988b). Tam następuje kondensacja pary dzięki czemu ciepło skraplania (2,257 MJ/kg) zużywane jest na ogrzanie wiórów drzewnych (oraz kleju w warunkach rzeczywistych).

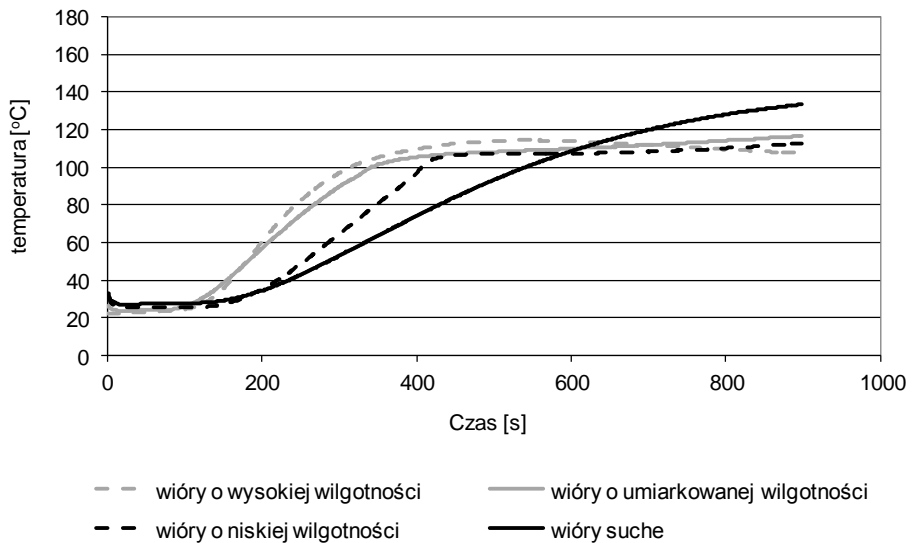


Rys. 2. Przebieg procesu przegrzewania kobierca o gęstości 600 kg/m³
Fig. 2. The process of overheating the chips mat with a density of 600 kg/m³

W trakcie przeprowadzonych badań dla kobierców o gęstości końcowej 600 kg/m³ i 700 kg/m³ temperaturę 100°C uzyskano po około 200 s od zamknięcia półek prasy (Rys. 2 i 3). W przypadku kobierca o gęstości końcowej 800 kg/m³ czas do uzyskania temperatury parowania w jego wnętrzu wydłużył się w przypadku wiórów o wysokiej wilgotności, o ponad 100 s. Związane to jest ze zmniejszoną porowatością kobierca, a tym samym z ograniczeniem penetracji pary wodnej przez prasowany surowiec. Garcia i in. (2003) badając proces przegrzewania płyt OSB również stwierdzili, że kobierce o mniejszej gęstości nagrzewają się szybciej i wykazują niższe ciśnienie mieszaniny gazu wewnątrz.



Rys. 3. Przebieg procesu przegrzewania kobierca o gęstości 700 kg/m³
Fig. 3. The process of overheating the chips mat with a density of 700 kg/m³



Rys. 4. Przebieg procesu przegrzewania kobierca o gęstości 800 kg/m³
Fig. 4. The process of overheating the chips mat with a density of 800 kg/m³

Wraz ze spadkiem wilgotności wiórów wydłużał się czas osiągnięcia wewnątrz prasowanego koberca temperatury zbliżonej do 100°C. Wynikało to zarówno ze zmniejszonej ilości pary wodnej powstającej w strefie przypowierzchniowej (mniejszy gradient ciśnienia) jak i wolniejszym procesem zagęszczania koberca. W odniesieniu do koberców o gęstości 600 kg/m³ czas osiągnięcia założonej grubości 16 mm w przypadku wiórów suchych był ponad 3 razy dłuższy niż w przy wiórach o wysokiej wilgotności. Dla koberców o wyższych gęstościach zróżnicowanie to jest jeszcze większe.

Spośród badanych koberców jedynie te wytworzone z wiórów o wysokiej wilgotności (ok. 15%) i umiarkowanej wilgotności (ok. 8%) charakteryzowały się krzywymi przegrzewania zbieżnymi z opisem tego procesu przedstawianym przez Gräsera (1962). Wyszczególnił on 5 etapów ogrzewania koberca: przenikanie ciepła od płyt grzejnych prasy do środka koberca (temperatura pozostaje stała), ogrzewanie warstwy środkowej koberca do chwili rozpoczęcia odparowywania wody (temperatura wzrasta szybko), odparowanie wody do momentu osiągnięcia w środku koberca temperatury wrzenia wody (temperatura wzrasta powoli), uchodzenie pary z koberca (temperatura na stałym poziomie), dalsze ogrzewanie koberca poprzez przewodnictwo cieplne wiórów (temperatura wzrasta bardzo powoli). W przypadku koberców wytworzonych z wiórów o niskiej wilgotności (ok. 5%) i wiórów suchych (ok. 1,5%) na ogół nie występuje etap utrzymywania się stałej temperatury przy uchodzeniu pary wodnej na zewnątrz (wyjątek w tym zakresie stanowił jedynie kobierzec o gęstości 800 kg/m³ wytworzony z wiórów o niskiej wilgotności). Taki przebieg krzywych przegrzewania związany jest ze stosunkowo niedużą ilością pary wodnej generowanej w trakcie prasowania i szybkiej jej migracji na zewnątrz koberca. Przyczynia się do tego również wspomniany już wcześniej wydłużony proces zagęszczania koberca. Należy jednak zaznaczyć, że kobierce wytworzone w ramach badań z wiórów o wilgotności ok. 5% i poniżej, umożliwiły przegrzanie ich wnętrza do temperatury powyżej 140°C, podczas gdy w kobercach wytworzonych z wiórów o wilgotności ok. 15% temperatura wewnątrz po całym etapie prasowania nie wzrosła istotnie ponad 100°C. Odnotowano również zależność, że im niższa gęstość koberca, tym wyższa temperatura końcowa w jego wnętrzu. Istotne znaczenie w tym przypadku miała zarówno zmniejszona ilość wilgoci w kobiercu (mniejsza masa wiórów) jak również większa jego porowatość i mniejsza ilość surowca do ogrzania. W kontekście zawartości wilgoci wewnątrz koberca Carvalho i in. (2003) wskazują, że utwardzanie żywic na drodze polikondensacji uzależnione jest od względnej wilgotności otaczającego powietrza.

Wnioski

W oparciu o przeprowadzone badania można wysnuć następujące wnioski:

1. Szybszemu przegrzaniu koberca do temperatury ok. 100°C w jego wnętrzu sprzyja wyższa wilgotność wiórów oraz niższa gęstość wytwarzanej płyty.

2. Wyższe wartości temperatury końcowe we wnętrzu kobierca (ponad 100°C) uzyskuje się w przypadku zastosowania wiórów o niższej wilgotności (poniżej 5%) oraz niższej gęstości wytwarzanej płyty.
3. Kobierzec wytworzony z wiórów o niższej wilgotności wymaga wydłużenia etapu komprymacji w celu uzyskania założonej grubości płyty.

Literatura

Carvalho L.H., Costa M.R.N., Costa C.A.V., 2003: A global model for the hot-pressing of Medium Density Fiberboard (MDF). *Wood Sci. And Technol.* 37: 241-258.

Carvalho L., Martins J., Costa C., 2010: Chapter 3 Transport Phenomena. W Thoemen H., Irle M., Sernek M. (red.), *Wood-Based Panels. An Introduction for Specialist.* Brunel University Press, London.

Denisov O.B. 1978: Die Verklebung der Holzpartikeln bei der Heisspressung von Spanplatten aus Holz. *Holztechnologie*, 19 (3): 139-145.

Denisov O.B., 1973: Die Überwachung des Pressvorgangs bei der Spanplattenherstellung. *Holztechnologie* 14: 43-46.

Denisov O.B., Anisov P. P., Zuban P. E., 1975: Untersuchung der Permeabilitat von Spanvliesen. *Holztechnologie* 16: 10-14.

Deppe H-J., Ernst K., 1982: *Taschenbuch der Spanplattentechnik.* DRW - Verlag Leinfelden.

Fahrni F., 1956: Das Verpressen von Spanplatten bei gefeuchteten oder feuchteren Deckspanen. *Holz Roh- Werkstoff* 14: 8-10.

Garcia P.J., Avramidis S., Lam F., 2003: Horizontal gas pressure and temperature distribution responses to OSB flake alignment during hot-pressing. *Holz Roh- Werkst*, 61: 425-431.

Graser H. 1962: Temperaturverlauf in industriell gefertigten Spanplatten während des Pressvorgangs. *Holz-Zentralblatt* 88(137), Beilage Nr.4: *Moderne Holzverarbeitung.*

Kamke F.A., Casey L.J., 1988a: Gas pressure and temperature in the mat during flakeboard manufacture. *Forest Products Journal* 38: 41-43.

Kamke F.A., Casey L.J., 1988b: Fundamentals of flakeboard manufacture: internal-mat conditions. *Forest Products Journal* 38: 38-44.

Artykuł recenzowany / Reviewed paper

Opublikowany online / Published online: 16.12.2019